



Modifikasi Pembuatan Garam Industri Dari Air Laut Dengan Metode Pengendapan - Mikrofiltrasi

Alvina Elysia D¹., Denny Sanjaya¹, Widayat^{1,2,*}, Kusmiyati³

¹Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

²Pusat Kajian Halal UPT Laboratorium Terpadu Universitas Diponegoro Semarang
Jl Prof Soedarto, S.H. Tembalang

³Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Dian Nuswantoro Semarang

* Email korespondensi: widayat@live.undip.ac.id

Abstrak

Garam adalah komponen yang sering digunakan untuk konsumsi maupun bahan baku industri. Garam mengandung banyak impuritas seperti $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, dan Na_2SO_4 sehingga perlu dicari proses untuk menghilangkan impuritas tersebut guna meningkatkan kadar $NaCl$. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari proses peningkatan kadar $NaCl$ dengan mengendapkan impuritas dan mencari kondisi operasi optimum dalam proses pengendapan magnesium stearat dan kalsium stearat. Proses pengendapan ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} dilakukan pada variabel suhu $80\text{ }^\circ\text{C}$ dan $90\text{ }^\circ\text{C}$ serta variabel konsentrasi Natrium Stearat $5\text{ }^\circ\text{V}$ dan $10\text{ }^\circ\text{V}$. Untuk optimasi, percobaan dilakukan dengan Central Composite Design. Asam Stearat direaksikan dengan $NaOH$ untuk menghasilkan Natrium Stearat ($CH_3(CH_2)_{16}COONa$). Larutan Natrium Stearat ini dicampurkan dengan air garam sehingga menimbulkan endapan putih yang merupakan campuran Kalsium Stearat dan Magnesium Stearat. Model persamaan pengendapan Ca^{2+} adalah $Y = 191,185 + 5,206 X_K - 0,072 X_K^2 - 3,687 X_T + 0,026X_T^2 - 0,036 X_KX_T$ dengan yield (Y) optimum $77,558$. Model persamaan pengendapan Mg^{2+} adalah $Y = 78,722 + 2,525X_K - 0,027 X_K^2 + 0,319X_T - 0,001X_T^2 - 0,023X_KX_T$ dengan yield optimum $97,361$. Model persamaan pengendapan $NaCl$ adalah $Y = -991,238 + 16,582 X_K - 0,153 X_K^2 + 24,007X_T - 0,135X_T^2 - 0,154 X_KX_T$ dengan kadar optimum $95,536\text{ }%$. Hasil ini belum memenuhi SNI garam industri yaitu kadar $NaCl$ sebesar $98,5\text{ }%$. Dengan demikian, proses ini belum cukup aplikatif untuk menghasilkan garam industri sesuai SNI.

Kata kunci : Central composite design, impuritas, $NaCl$, , natrium stearat

Abstract

MODIFICATION ON INDUSTRIAL SALT PRODUCTION VIA PRECIPITATION METHOD – MICROFILTRATION. Salt is a component frequently used for consumption and raw material in industries. Salt contains many impurities such as $MgCl_2$, $MgSO_4$, $CaCl_2$, and Na_2SO_4 , hence a process is imperative to remove the impurities to increase the $NaCl$ content. This research aims to study the process on increasing $NaCl$ content by precipitating the impurity and finding the optimal operation condition in the precipitation process of magnesium stearate and calcium stearate. The precipitation process of Ca^{2+} and Mg^{2+} ions are carried out on temperature variables of $80\text{ }^\circ\text{C}$ and $90\text{ }^\circ\text{C}$ along with the concentration variable of $5\text{ }^\circ\text{V}$ and $10\text{ }^\circ\text{V}$ sodium stearate. Optimization was carried out using the Central Composite Design. Stearic acid was reacted with $NaOH$ to produce sodium stearate ($CH_3(CH_2)_{16}COONa$). The sodium stearate mixture was mixed with salt water to produce white precipitate containing calcium stearate and magnesium stearate mixture. The model equation of the Ca^{2+} precipitation was $Y = 191.185 + 5.206 X_K - 0.072 X_K^2 - 3.687 X_T + 0.026X_T^2 - 0.036 X_KX_T$ with optimum yield (Y) 77.558 . Meanwhile, the model equation of the Mg^{2+} precipitation was $Y = 78.722 + 2.525X_K - 0.027 X_K^2 + 0.319X_T - 0.001X_T^2 - 0.023X_KX_T$ with optimum yield 97.361 . The model equation of the $NaCl$ precipitation was $Y = -991.238 + 16.582 X_K - 0.153 X_K^2 + 24.007X_T - 0.135X_T^2 - 0.154 X_KX_T$ with an optimum

content of 95.536%. The obtained result has not meet the Indonesian National Standard for NaCl content in industrial salt which was 98.5%. Therefore, this process was not yet applicable enough to produce industrial salt with Indonesian National Standard.

Keywords: *Central composite design, impurity, NaCl, sodium stearate*

1. Pendahuluan

Garam NaCl merupakan salah satu bahan baku yang banyak dipakai sebagai bahan konsumsi maupun bahan baku industri. Kebutuhan garam di Indonesia terdiri atas kebutuhan garam konsumsi dan garam Industri. Kebutuhan garam tersebut diprediksi naik setiap tahunnya. Menurut Deperindag (2002) kebutuhan garam konsumsi sebesar 1,2 juta ton/tahun, sedangkan untuk garam industri mencapai 2,4 juta ton/tahun. Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Perindustrian Nomor 29/M/SK/2/1995 tentang Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk garam industri meliputi kadar NaCl sebanyak 98,5 db. Namun demikian, garam industri yang diproduksi di Indonesia sebagian besar belum memenuhi SNI dan SII. Kegiatan impor garam merupakan kebijakan yang dilakukan untuk memenuhi kebutuhan garam yang sesuai dengan SII dan SNI. Oleh karena itu, perlu dilakukan inovasi untuk meningkatkan kualitas garam industri yang sesuai dengan standar yang diharapkan baik SNI maupun SII.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kualitas garam industri. Marihati, dkk (2001) telah melakukan rekayasa alat purifikasi garam rakyat menjadi garam industri melalui metode pencucian. Penelitian tersebut diperoleh garam industri yang sesuai dengan syarat SNI dengan bahan baku garam krosok diperoleh rerata kadar NaCl mengalami peningkatan sebesar 5,3 %.

Hasil yang berbeda ditunjukkan pada penelitian Widiyanti, dkk (2004) pembuatan garam industri dengan melakukan metode pengendapan dan evaporasi menggunakan pelarut natrium hidroksida dan karbondioksida untuk mengendapkan ion Mg^{2+} dan Ca^{2+} , belum diperoleh hasil sesuai dengan SNI disebabkan ion Ca^{2+} yang

terendapkan menjadi kalsium karbonat menjadi kurang optimal. Metode pengendapan dan mikro filtrasi dengan pelarut campuran asam stearat dan natrium hidroksida sehingga diharapkan mampu menghasilkan kadar NaCl yang lebih tinggi.

Meskipun teknologi tersedia untuk memecahkan masalah kemurnian garam, tetapi penting untuk memperhatikan kondisi keuangan dan sumber daya alam yang tersedia. Untuk itu perlu dipahami sifat fisis dan kimia dari NaCl. Ada beberapa cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas garam industri dengan mempertimbangkan sifat kelarutan dari natrium, kalsium dan magnesium klorida. Mekanisme tersebut dapat ditempuh dengan beberapa cara meliputi penambahan natrium karbonat, modifikasi kondisi operasi dan penambahan natrium hidroksida dan asam stearat (Abu-Khader, 2004).

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari proses peningkatan kadar NaCl dengan mengendapkan impuritas dan mencari kondisi operasi yang optimum dalam proses pengendapan magnesium stearat dan kalsium stearat.

Pembuatan garam dapat dilakukan dengan beberapa cara meliputi penambangan batuan garam dan sumur air garam serta metode evaporasi air laut dengan bantuan panas matahari. Komposisi garam yang diperoleh melalui penambangan berbeda-beda. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor lokasi penambangan, sehingga komposisinya mengandung lebih dari 95%. Syarat SNI dan SII untuk garam industri menurut Deperindag (2002) ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat SNI dan SII Garam Industri (Deperindag, 2002)

Parameter	SNI (%)	SII (%)
NaCl (db), max	98.5	98.5
H ₂ O	3	4
Ca(db), max	0.10	0.10
Mg(db), max	0.06	0.06
SO ₄ (db), max	0.20	0.20

Impuritas yang terdapat pada garam rakyat diantaranya MgCl₂, MgSO₄, CaCl₂ dan Na₂SO₄ terdapatnya impuritas di dalam garam dapat terjadi karena garam berasal dari air laut yang banyak mengandung senyawa-senyawa yang lain. Komposisi secara lengkap garam industri menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Standar Industri Indonesia (SII) seperti disajikan di Tabel 2. Tujuan dari proses pencucian garam yaitu untuk menghilangkan kotoran yang ada pada garam dan untuk meminimalisir kandungan Mg²⁺, Ca²⁺ dan MgSO₄. Kandungan ion dan senyawa tersebut melapisi garam, sehingga perlu dilakukan pencucian melalui proses pergantian dengan tingkat kelarutan jenuh garam yang kadar ionnya rendah. Pencucian garam biasanya dilakukan dengan aliran larutan garam jenuh yang disebut "brine" yang bersih dengan tingkat kelarutan antara 20^oBe sampai 25^oBe dan dengan kandungan Magnesium (Mg) 10 mg/liter. Pemilihan ion terdapat adanya air laut pada konsentrasi yang lebih besar dari 0.001 g / kg (1 ppm) terhadap berat.

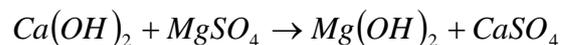
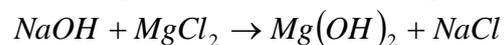
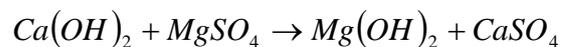
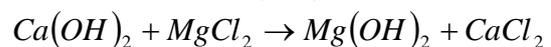
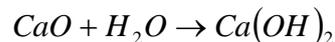
Ion Mg dalam air laut dapat berbentuk senyawa

-MgSO₄ dan MgCl₂ apabila SO₄ > Ca (dalam mol)

- MgSO₄ saja, apabila SO₄ < Ca (dalam mol)

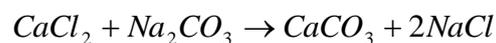
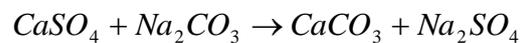
Untuk mengendapkan ion Mg dapat ditambahkan Ca(OH)₂ atau NaOH pada air laut, sehingga membentuk endapan Mg(OH)₂ dan CaCl₂ atau NaCl.

Reaksi yang terjadi :



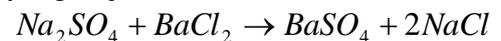
Ion Ca dalam brine berupa senyawa CaSO₄ dan CaCl₂. Terbentuk senyawa CaCl₂ apabila mol Ca > mol SO₄. Untuk mengendapkan ion Ca dapat ditambahkan Na₂CO₃ pada brine, sehingga terbentuk endapan CaCO₃.

Reaksi yang terjadi :

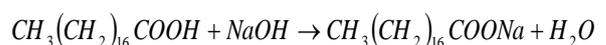


Ion SO₄ pada brine berbentuk senyawa Na₂SO₄. Terbentuk senyawa Na₂SO₄ apabila mol SO₄ > mol Ca. Untuk mengendapkan ion SO₄ dapat ditambahkan BaCl₂ pada air laut, sehingga terdapat endapan BaSO₄ (Vogel, 1985).

Reaksi yang terjadi :

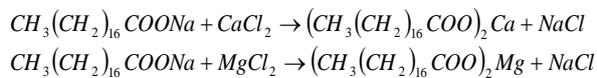


Penelitian ini dilakukan dengan mencampurkan asam stearat dengan NaOH untuk menghasilkan natrium stearat (CH₃(CH₂)₁₆COONa) berdasarkan reaksi berikut :

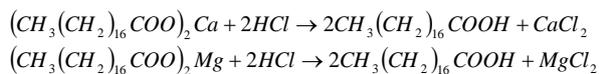


Larutan natrium stearat ini dicampurkan dengan air garam sehingga menimbulkan endapan berwarna putih yang merupakan campuran dari kalsium stearat ((CH₃(CH₂)₁₆COO)₂Ca) dan magnesium

stearat $((CH_3(CH_2)_{16}COO)_2Mg)$ seperti ditunjukkan pada reaksi :



Untuk mengambil kembali asam stearat dapat dilakukan dengan menambahkan asam klorida (HCl) sehingga kalsium dan magnesium terlarutkan sesuai dengan reaksi berikut ini:



(Abu-Khader, 2004).

Dalam penelitian ini, digunakan metode *central composite design* untuk merancang percobaan sekaligus dalam proses analisa. Diharapkan dengan menggunakan metode ini, peneliti dapat mengetahui variabel yang berpengaruh dalam proses serta interaksi antar variabel. *Central Composite Design* dengan *Response Surface* merupakan teknik yang digunakan dalam studi empiris dari hubungan satu atau lebih respon dan sejumlah variabel input. Dalam penelitian ini, respon yang diukur adalah yield dari Ca^{2+} , Mg^{2+} dan NaCl, sedangkan variabel input berupa temperatur dan konsentrasi natrium stearat.

Dalam penelitian ini digunakan 2^2 faktorial design dengan dua titik tengah dan 10 run. Persamaan umum yang menggambarkan design central composite design orde dua sebagai berikut :

$$Y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \beta_{11}x_1^2 + \beta_{22}x_2^2 + \beta_{12}x_1x_2 \quad (1)$$

dimana,

Y = respon yang ingin diamati

β_i = parameter

x_i = variabel input ditinjau dari model linier

x_i^2 = variabel input ditinjau dari model kuadrat (curvature)

x_ix_j = interaksi antar variabel

Persamaan tersebut di atas diperoleh dengan metode least square. (Box, Hunter and Hunter, 1981)

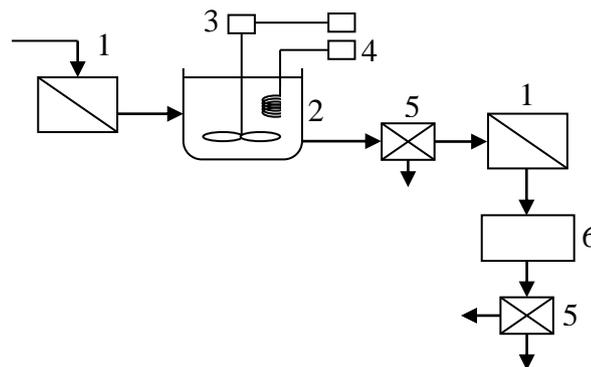
Mikrofilter merupakan jenis membran yang digunakan dalam proses mikrofiltrasi. *Mikrofiltrasi* adalah proses filtrasi suatu partikel tersuspensi dengan ukuran 0,1 – 10 μ m. Mekanisme adsorpsi dapat terjadi apabila membran menangkap partikel. Terdapat dua bagian membran mikrofilter diantaranya meliputi bagian luar (prefilter) yang berfungsi untuk filtrasi komponen kasar dan membran filter dengan ukur tipis dan lebih halus untuk menyaring partikel yang berukuran kecil. Diameter poros membran mikrofilter biasanya sekitar 0,22 – 0,45 μ m. (Baker, 2000)

Metode Pendekatan

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Rekayasa Proses, Jurusan Teknik Kimia UNDIP Semarang. Bahan baku yang diperlukan meliputi air laut, asam stearat dan natrium hidroksida (NaOH). Reaktor pengaduk yang dilengkapi pengatur suhu dibutuhkan pada penelitian ini untuk mereaksikan bahan. Variabel pada penelitian ini terdiri dari variabel tetap meliputi volume air laut sebanyak 2 liter, air laut 20^o Be, waktu proses 60 menit dan perbandingan mol asam stearat dengan NaOH 1 : 1. Sedangkan untuk variabel berubahnya yaitu temperatur operasi 80^oC dan 90^oC serta konsentrasi natrium stearat 5 % dan 10 % volum. Hasil dari penelitian berupa garam industri yang akan dianalisa kadar NaCl nya. Parameter keberhasilan penelitian ini adalah sesuai dengan SNI untuk garam industri dengan kandungan NaCl 98,5 % berat. Selain itu, variabel operasi pada penelitian ini terdiri atas variabel temperature operasi dan konsentrasi natrium stearat. Sedangkan untuk pengolahan data menggunakan metode central composite design. Variable operasi dengan central composite design disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Variabel operasi dengan central composite design

No	Temperatur (°C)	Konsentrasi natrium stearat (%V)
1	80	5
2	80	10
3	90	5
4	90	10
5	85	7.5
6	85	7.5
7	85	3.9645
8	85	11.0355
9	77.92893	7.5
10	92.07107	7.5



Gambar 1. Rangkaian Alat Percobaan

Keterangan :

1. Mikrofliter
2. Reaktor
3. Motor + pengaduk
4. Termostat + heater
5. Saringan penghisap
6. Evaporator

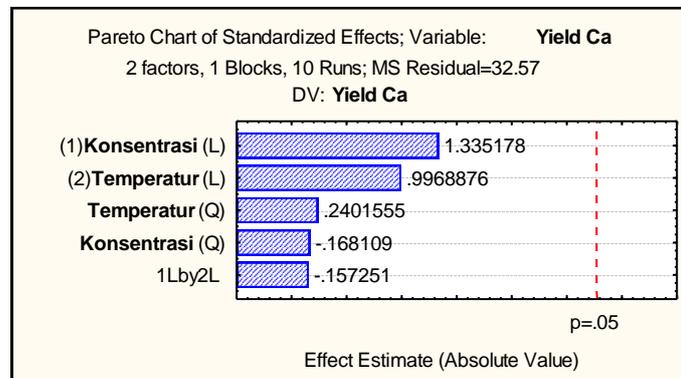
Adapun prosedur penelitian yaitu menyiapkan campuran natrium stearat dan air dengan perbandingan berat 1 : 1, memanaskan air laut sampai 20 °Be, mereaksikan air laut dengan natrium stearat pada variabel operasi yang telah ditentukan, menyaring dan memisahkan filtrat dengan endapannya, menganalisa kadar Ca dan Mg sisa pada filtrat, menguapkan filtrat hingga diperoleh endapan garam dan menganalisa kadar NaCl pada endapan garam tersebut.

Hasil dan Pembahasan

Pada proses optimasi ini digunakan metode *central composite design* dimana model linier, model kuadrat dan interaksi antar variabel tidak diabaikan.

Penelitian ini menggunakan software *Statistica 6*, diperoleh Diagram Pareto yang menggambarkan seberapa besar suatu variabel (dan juga interaksi antar variabel) berpengaruh dalam proses.

a. Pengendapan ion Ca^{2+}

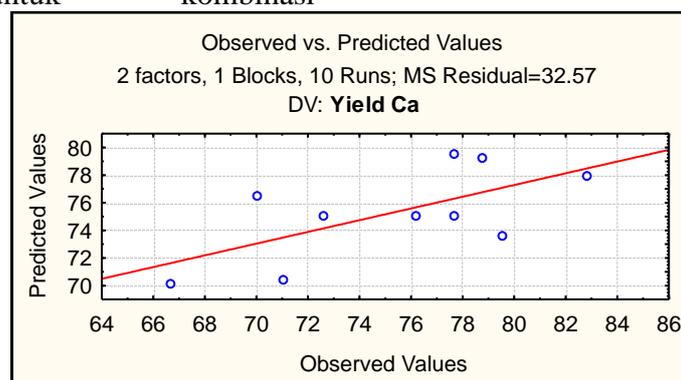


Gambar 2. Diagram Pareto untuk analisa kadar Ca^{2+}

Gambar 2. Menunjukkan bahwa variabel.konsentrasi natrium.stearat (1L) lebih.berpengaruh daripada variabel temperatur operasi (2L). Namun dari kedua variabel tersebut jauh dari batas minimum $p = 0,05$ dan merupakan jarak minimum dari suatu efek (variabel) dalam pengaruhnya terhadap respon. Hal ini berarti, baik variabel konsentrasi maupun temperatur tidak memberikan efek yang cukup berarti terhadap proses pengendapan ion Ca^{2+} . Sedangkan untuk kombinasi

variabel konsentrasi dan temperatur (1Lby2L) mempunyai efek yang sangat kecil terhadap proses pengendapan ion Ca^{2+} .

Secara keseluruhan, model linier akan memberikan hasil yang lebih baik dibanding model kuadrat. Sedangkan efek interaksi belum bisa memberikan hasil yang memuaskan.

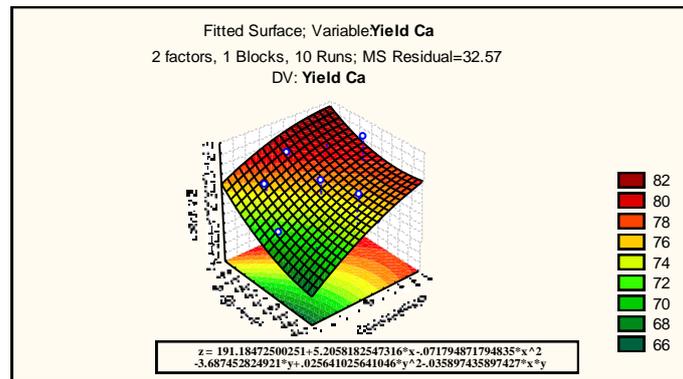


Gambar 3. Grafik hubungan antara data teramati dengan data terprediksi

Dari gambar di atas terlihat bahwa data percobaan cukup menyimpang dari data yang terprediksi (model). Hal tersebut

dapat terlihat pada harga MS Residual yang cukup besar,yaitu 32,57 %. Berdasarkan hal tersebut, model belum

bisa mewakili pada proses pengendapan Ca^{2+} dalam air laut.



Gambar 4. Profil Response Fitted Surface untuk Ca^{2+}

Dari model response surface di atas, diperoleh perhitungan efek utama dan interaksi sebagai berikut :

dimana :
 Y = yield
 X_K = konsentrasi natrium stearat
 X_T = temperatur operasi

$$Y = 191,185 + 5,206X_K - 0,072X_K^2 - 3,687X_T + 0,026X_T^2 - 0,036X_K \cdot X_T \quad (2)$$

Tabel 2. Harga kritis dari variabel pada pengendapan Ca^{2+}

Factor	Critical values; Variable: Yield Ca (analisa)		
	Observed minimum	Critical Value	Observed maximum
Konsentrasi	3,96447	15,55615	11,03553
Temperatur	77,92893	82,79463	92,07107

Dari tabel di atas, terlihat harga kritis dari variabel konsentrasi natrium stearat dan temperatur operasi yaitu 15,55615 %V untuk konsentrasi dan 82,79463°C untuk temperatur. Karena harga kritis dari konsentrasi di luar batas minimum dan maksimum, maka konsentrasi diambil yang mendekati harga kritis yaitu 11,03553 %V.

Dari persamaan perhitungan efek utama dan interaksi dengan harga konsentrasi 11,03553 %V dan temperatur 82,79463°C dimana bersifat *sadel*, maka akan diperoleh yield :

$$Y_{opt} = 77,558$$

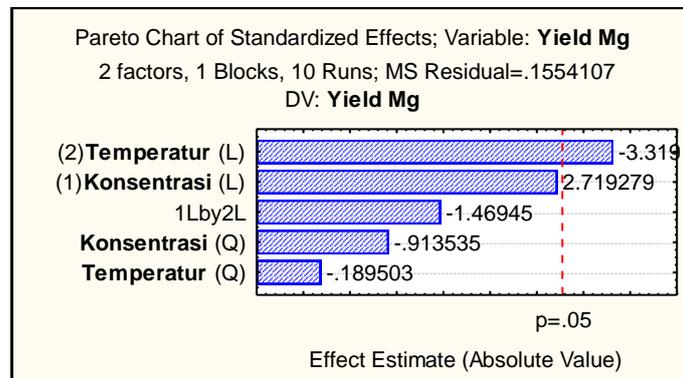
Jadi, dengan semakin besarnya konsentrasi natrium stearat (dalam hal ini sebagai reaktan), makin banyak natrium stearat yang akan bereaksi dengan ion Cl^- yang ada pada air laut membentuk NaCl .

b. Pengendapan ion Mg^{2+}

Ion Ca^{2+} dan Mg^{2+} yaitu sebagian besar impuritas yang terkandung dalam air laut dalam jumlah dan kadar yang cukup besar. Dengan terdapatnya kedua ion ini, garam yang dihasilkan akan mempunyai kadar NaCl cukup rendah. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk menurunkan atau bahkan menghilangkan

kadar dari kedua impuritas ini. Ion Mg^{2+} dalam air laut akan diendapkan

menjadi Magnesium stearat dengan menggunakan reaktan Natrium stearat.

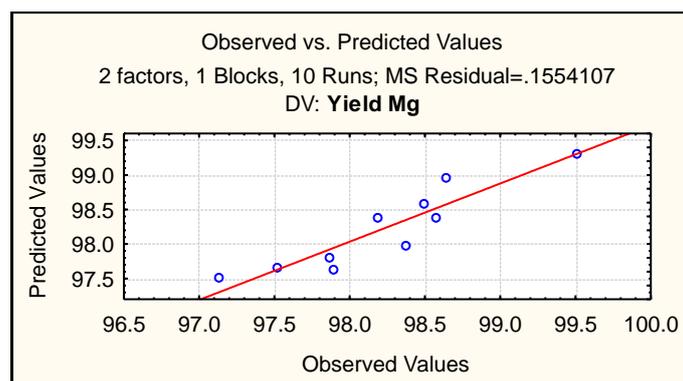


Gambar 5. Diagram Pareto untuk analisa kadar Mg^{2+}

Gambar 5. terlihat bahwa variabel temperatur operasi (2L) berpengaruh signifikan dibandingkan variabel konsentrasi natrium stearat (1L). Variabel temperatur lebih besar dari batas minimum $p = 0,05$ dimana merupakan jarak minimum dari suatu efek (variabel) dalam pengaruhnya terhadap respon sehingga bisa dikatakan variabel temperatur memberikan efek yang besar terhadap proses pengendapan ion Mg^{2+} ,

sedangkan variabel konsentrasi belum dapat memberikan efek yang besar untuk mengendapkan ion Mg^{2+} . Tetapi untuk kombinasi variabel konsentrasi dan temperatur (1Lby2L) mempunyai efek yang sangat kecil.

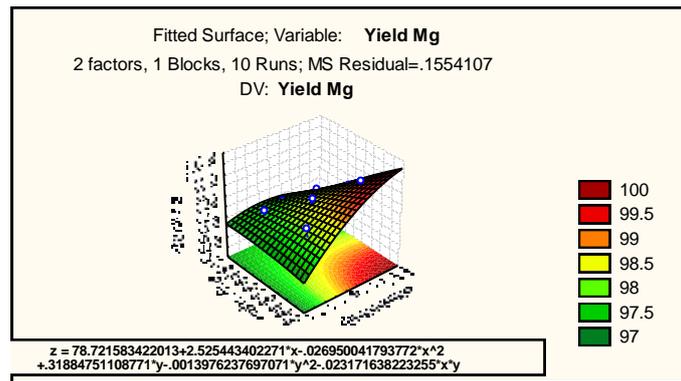
Secara keseluruhan, model linier akan memberikan hasil yang lebih baik dibanding model kuadrat. Sedangkan efek interaksi belum bisa memberikan hasil yang memuaskan.



Gambar 6. Grafik hubungan antara data teramati dengan data terprediksi

Dari gambar di atas terlihat bahwa data percobaan mendekati dari data yang terprediksi (model). Hal ini bisa terlihat pada harga MS Residual yang cukup

kecil, yaitu 0,1554107 %. Oleh karena itu model bisa mewakili pada proses pengendapan Mg^{2+} dalam air laut.



Gambar 7. Profil Response Fitted Surface untuk Mg^{2+}

Dari model response surface di atas, diperoleh perhitungan efek utama dan interaksi sebagai berikut :

$$Y = 78,722 + 2,525X_K - 0,027X_K^2 + 0,319X_T - 0,001X_T^2 - 0,023X_K \cdot X_T \quad (3)$$

Tabel 3. Harga kritis dari variabel pada pengendapan Mg^{2+}

Factor	Critical values; Variable: Yield Mg (analisa) Solution: saddlepoint Predicted value at solution: 96.85657		
	Observed minimum	Critical Value	Observed maximum
Konsentrasi	3,96447	0,8517	11,03553
Temperatur	77,92893	107,0074	92,07107

Dari tabel di atas, terlihat harga kritis dari variabel konsentrasi natrium stearat dan temperatur operasi yaitu 0,8517 %V untuk konsentrasi dan 107,0074°C untuk temperatur. Karena harga kritis dari konsentrasi dan temperatur di luar batas minimum dan maksimum, maka konsentrasi diambil yang mendekati harga kritis yaitu 3,96447 %V dan temperatur diambil 92,07107°C.

Dari persamaan perhitungan efek utama dan interaksi dengan harga konsentrasi 3,96447 %V dan temperatur 92,07107°C dimana bersifat *sadel*, maka akan diperoleh yield :

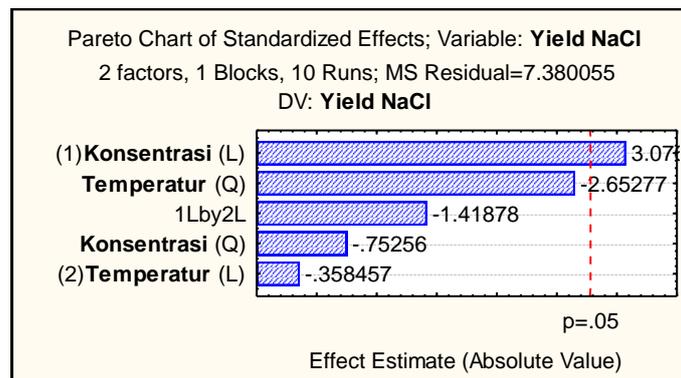
$$Y_{opt} = 97,361$$

Jadi, dengan semakin besarnya temperatur operasi, maka harga k (konstanta laju reaksi) semakin besar sehingga laju reaksi semakin besar pula sesuai dengan persamaan Arrhenius :

$$k = Ae^{-E/R.T}$$

Laju reaksi yang semakin besar akan menyebabkan banyak partikel bertumbukkan sehingga kadar NaCl yang terbentuk semakin besar.

c. Endapan garam NaCl yang dihasilkan



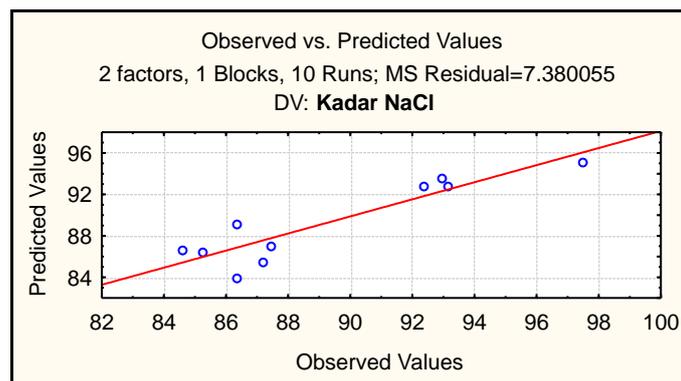
Gambar 8. Diagram Pareto untuk analisa kadar NaCl

Dari gambar di atas, terlihat bahwa variabel konsentrasi natrium stearat (1L) jauh lebih berpengaruh daripada variabel temperatur operasi (2L) jika ditinjau dari model linier. Variabel konsentrasi lebih besar dari batas minimum $p = 0,05$ dimana merupakan jarak minimum dari suatu efek (variabel) dalam pengaruhnya terhadap respon, sehingga bisa dikatakan variabel konsentrasi memberikan efek yang besar dalam proses ini.

Sedangkan jika ditinjau dari model kuadrat, variabel temperatur operasi jauh

lebih berpengaruh daripada variabel konsentrasi natrium stearat. Variabel temperatur mendekati batas minimum $p = 0,05$. Hal ini berarti variabel temperatur belum memberikan efek yang besar terhadap proses. Tetapi untuk kombinasi variabel konsentrasi dan temperatur (1Lby2L) mempunyai efek yang kecil.

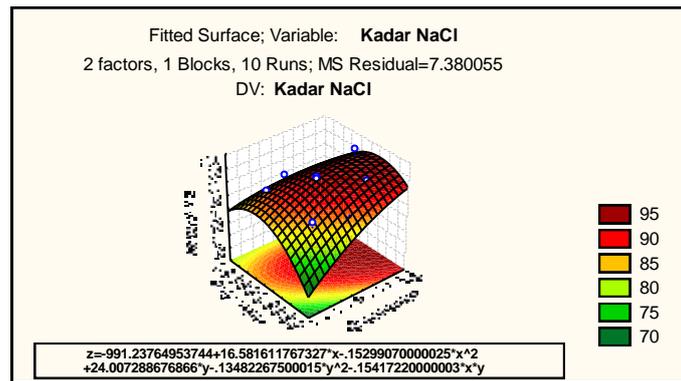
Secara keseluruhan, model linier akan memberikan hasil yang lebih baik dibanding model kuadrat. Sedangkan efek interaksi belum bisa memberikan hasil yang memuaskan.



Gambar 9. Grafik hubungan antara data teramati dengan data terprediksi

Dari gambar di atas terlihat bahwa data percobaan mendekati dari data yang terprediksi (model). Hal ini bisa terlihat pada harga MS Residual yang cukup

kecil, yaitu 7,380055 %. Oleh karena itu model bisa mewakili pada proses peningkatan kadar NaCl.



Gambar 10. Profil Response Fitted Surface untuk NaCl

Dari model response surface di atas, diperoleh perhitungan efek utama dan interaksi sebagai berikut :

$$Y = -991,238 + 16,582X_K - 0,153X_K^2 + 24,007X_T - 0,135X_T^2 - 0,154X_K \cdot X_T \quad (4)$$

Tabel 4. Harga kritis dari variabel pada pengendapan NaCl

Factor	Observed minimum	Critical Value	Observed maximum
Konsentrasi	3,96447	13,10746	11,03553
Temperatur	77,92893	81,53852	92,07107

Dari tabel terlihat harga kritis dari variabel konsentrasi natrium stearat dan temperatur operasi yaitu 13,10746 %V untuk konsentrasi dan 81,53852°C untuk temperatur. Karena harga kritis dari konsentrasi di luar batas minimum dan maksimum, maka konsentrasi diambil yang mendekati harga kritis yaitu 11,03553 %V.

Dari persamaan perhitungan efek utama dan interaksi dengan harga konsentrasi 11,03553 %V dan temperatur 81,53852°C dimana bersifat *maksimum*, maka akan diperoleh kadar :

$$\text{Kadar} = 95,536 \%$$

Konsentrasi natrium stearat sangat berpengaruh dalam pembentukan garam dengan kadar NaCl yang tinggi. Hal ini disebabkan semakin tinggi konsentrasi natrium stearat, maka semakin banyak

partikel natrium stearat yang akan bereaksi dengan ion Cl^- yang ada pada air laut membentuk NaCl.

Kesimpulan

Model persamaan untuk pengendapan Ca^{2+} adalah $Y = 191,185 + 5,206 X_K - 0,072 X_K^2 - 3,687 X_T + 0,026X_T^2 - 0,036 X_KX_T$ dengan yield (Y) optimum 77,558. Model persamaan untuk pengendapan Mg^{2+} adalah $Y = 78,722 + 2,525X_K - 0,027 X_K^2 + 0,319X_T - 0,001X_T^2 - 0,023X_KX_T$ dengan yield optimum 97,361. Model persamaan untuk pengendapan NaCl adalah $Y = -991,238 + 16,582 X_K - 0,153 X_K^2 + 24,007X_T - 0,135X_T^2 - 0,154 X_KX_T$ dengan kadar optimum 95,536 %. Dengan proses optimasi, garam yang dihasilkan mempunyai kadar NaCl tertinggi 95,536 %.

Perlu dipikirkan untuk menurunkan kadar SO_4 sehingga garam yang dihasilkan dapat memenuhi spec garam industri. Proses tidak dapat dijalankan pada suhu rendah

karena natrium stearat pada suhu rendah akan berwujud padat. Perlu dicoba untuk memperbesar range temperatur operasi agar dapat memberikan hasil yang maksimal

Daftar Pustaka

- Abu-Khader, M. M., (2004) Viable Engineering Options To Enhance The NaCl Quality From The Dead Sea In Jordan, *Journal of Cleaner Production*, 14(1), 80-86.
- Box, G. E. P., Hunter, J. S., Hunter, W. G., (1981), *Statistics for Experimenters: Design, Innovation, and Discovery*, 2nd, John Willey and Sons, New York.
- Departemen Perindustrian dan Perdagangan Republik Indonesia, (2002), SNI dan SII Garam Untuk Industri.
- Himawan, F. and Widiyanti, M., (2004), Pembuatan Garam Industri Dari Air Laut Kota Rembang dengan Metode Pengendapan Evaporasi, *Laboratory Report*, Universitas Diponegoro, Indonesia.
- Marihati, A., Soengkawati, M., Kartasanjaya, S., Sayekti, T., (2001), *Rekayasa Alat Purifikasi Garam Rakyat Pada Industri Kecil dan Menengah Untuk Konsumsi Garam Industri Pangan*, Semarang.
- Baker, R. W., (2000), *Membrane Technology and Applications*, 1st, Mc Graw Hill, California.
- Vogel, (1985), *Buku Teks Analisis Anorganik Kualitatif Makro dan Semimikro*, Jakarta, pp. 156.